

# Optimasi Biaya Transportasi Pengiriman Garam Menggunakan Vogel's Approximation Method (Studi Kasus: Pulau Madura PT. Unichem Candi Indonesia)

Nurul Hidayah, Desi Hartati, Pradita Eko Prasetyo Utomo, Ulfa Khaira  
Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi  
email: nurulhidayaah1825@gmail.com

*Model transportasi merupakan salah satu metode dalam riset operasi untuk memecahkan suatu permasalahan transportasi dengan mempertimbangkan beberapa variabel dan pembatas. PT. Unichem Candi Indonesiayang memiliki 3 pabrik di daerah berbeda ini memiliki permasalahan transportasi pada proses pengiriman garam dari daerah penghasil garamnya. Jenis penelitian ini yaitu penelitian terapan dengan menggunakan pendekatan kuantitatif. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui biaya transportasi minimal yang perlu dikeluarkan dengan mempertimbangkan permintaan jumlah garam pada setiap pabrik. Metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah transportasi ini adalah Vogel's Approxiamtion Method (VAM) untuk menentukan solusi optimumnya. Hasil pengolahan data secara manual menggunakan Vogel's Approxiamtion Method sebesar Rp.45.654.851.000,-. Kami juga melakukan perhitungan menggunakan bantuan Software POM-QM, RStudio dan google colab (phyton) guna memvalidasi akurat atau tidaknya perhitungan secara manual juga dilakukan dan menunjukkan hasil yang sama yaitu biaya minimal yang dikeluarkan oleh PT. Unichem Candi Indonesia dari daerah sumber garam untuk melakukan pengiriman garam ke daerah pabrik tujuan sebesar Rp. 45.654.851.000,-.*

**Kata Kunci:** Transportasi, Riset Operasi, Vogel's Approxiamtion Method, Software POM-QM, RStudio, Phyton.

## I. PENDAHULUAN

Pada dunia industri, beberapa perusahaan dalam mengatasi permasalahan transportasi terkait biaya pendistribusian produk perlu dilakukannya riset operasi (*operations research*) terlebih dahulu guna mempermudah pihak manajemen untuk menentukan peraturan atau kebijakan dan tindakan yang perlu dilakukan secara ilmiah. Salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam melakukan operasi yang mempengaruhi kelancaran sistem pengiriman barang yaitu model transportasi dan pendistribusian barang yang diimplementasikan pada perusahaan atau industri terkait. Distribusi adalah aktivitas penyaluran suatu produk dari pihak *supllier* kepada konsumen dalam bentuk rantai pasok. Alur pengiriman produk dilakukan mulai dari tempat penyimpanan seperti: *production center*, *distribution center*, lokasi partai besar dan penjual eceran. Didukung dengan tinggi dan luasnya permintaan konsumen atas produk yang dihasilkan yang nantinya akan dikirimkan ke beberapa daerah yang berbeda, hal itu menjadikan problematika transportasi dan distribusi bagi beberapa perusahaan.

Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah pengiriman produk dalam meminimumkan biaya

peniriman produk ialah dengan menggunakan metode transportasi. Metode transportasi adalah suatu alat untuk menyelesaikan persoalan pengiriman produk dari berbagai *supplier* yang mempunyai stok produknya untuk dikirim ke beberapa lokasi tujuan secara optimum.

Metode Transportasi memegang peranan penting dalam mengatur pengoperasian distribusi produk dan dapat dengan mudah juga praktis diimplementasikan, khususnya pada industri manufaktur. Biaya operasional adalah biaya mutlak yang perlu diperhitungkan dalam transportasi dan distribusi produk, supaya produk yang dikirimkan ke *customer* tepat waktu serta tetap dalam keadaan baik dan sesuai pesanan. Pola pendistribusian produk yang efisien dapat mengurangi biaya transportasi sehingga perusahaan mendapatkan keuntungan lebih maksimal. Hadirnya model transportasi berguna untuk mengoptimalkan arah gerak dari lokasi satu ke lokasi lainnya. Berkembangnya pasar dan nilai serta model transportasi yang baik mengikuti perkembangan teknologi saat ini yang menjadikan produksi lebih menghemat biaya dan waktu serta tenaga. Problematika terpenting perihal transportasi yaitu optimalisasi pengiriman produk dari pihak pemasok ke pihak penerima, sehingga biaya dan waktu pengiriman dapat diminimumkan.

Dalam masalah pendistribusian produk terkait transportasi, pada umumnya pemecahan masalah melalui beberapa cara atau metode, yaitu: langkah pertama menentukan solusi awal yang dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti *North West Corner*, *Least Cost*, *Vogel's Approximation Method*. Dan bisa dilanjut dengan langkah kedua yaitu solusi optimum (penyelesaian terakhir) menggunakan *Stepping Stone method* dan *Modified Distribution*.

PT. Unichem Candi Indonesia merupakan pemimpin dalam memproduksi mineral khusus dan bahan kimia untuk industri minyak dan gas, pertambangan serta jasa terkait lainnya untuk berbagai industri dan juga merupakan salah satu Perusahaan terbesar dalam memproduksi garam.

PT. Unichem Candi Indonesia memiliki 3 daerah sumber penghasil garam di pulau Madura, dimana daerah tersebut ialah Sampang, Pamekasan dan Sumenep. Didukung permintaan konsumen yang cukup tinggi, PT. Unichem Candi didapati permasalahan perihal pengiriman produk ke beberapa tempat tujuan yang dilakukan oleh ketiga sumber penghasil tersebut. Dimana tujuan pengirimannya yaitu ke 3 pabrik di daerah daerah Gresik, Surabaya dan Sidoarjo. Pada proses pengiriman produk tersebut pemilik dihadapi dengan

permasalahan dimana sumber harus dapat memenuhi permintaan pabrik dengan tetap mempertimbangkan kapasitas barang yang ada/ditawarkan serta tetap dapat mengoptimalkan biaya transportasi dalam pendistribusian produknya yang dilakukan oleh daerah sumber penghasil tersebut.

Penelitian-penelitian sebelumnya mengenai permasalahan *transportation* telah dilakukan, seperti penelitian Afiani, dkk di tahun 2019 yang menunjukkan bahwa penerapan *Modified Vogel's Approximation Method* (MVAM) di Pabrik Tahu Taufik mendapatkan solusi optimum yang telah teruji keoptimalannya dengan *Modified Distribution* sehingga menghasilkan biaya yang lebih kecil dari perhitungan biaya yang dilakukan oleh pabrik. Ratnasari dkk di tahun 2019 melakukan penelitian mengenai pendistribusian tabung gas LPG 3 Kg pada PT TriBumi Sejati dengan *Vogel's Approximation Method* dan dapat menghemat biaya transportasi sebanyak 45,9 % untuk solusi awal sedangkan untuk solusi optimum menggunakan *Stepping Stone Method* berhasil menghemat biaya transportasi sebanyak 46,6 %. Penelitian hampir serupa dilakukan oleh Ayulinansyah, dkk di tahun 2018 mengenai pengiriman keramik pada PT. Indah Bangunan Palu dapat menhemat biaya pengiriman sebesar 13% atau Rp.8.370.000 perbulan menggunakan *Vogel's Approxiamtion Method* untuk menentukan penyelesaian awal dan *Stepping Stone Method* untuk menentukan penyelesaian optimum. Marwan di tahun 2021 melakukan penelitian mengenai perbandingan *North West Corner* dan *Vogel Approximation Method* sebagai metode transportasi pada PT XYZ menunjukkan bahwa *Vogel's Approximation Method* menghasilkan biaya transportasi yang paling terkecil yaitu Rp. 319.400.000 dibandingkan dengan metode *North West Corner* yang menghasilkan biaya transportasi sebesar Rp. 348.000.000. Adapun Hasibuan di tahun 2017 melakukan penelitian mengenai perbandingan *Russel Approximation Method* dan *Vogel's Approximation Method* untuk mengatasi persoalan transportasi, hasilnya menunjukkan bahwa *Vogel's Approximation Method* menghasilkan biaya transportasi lebih kecil dan dinilai lebih efektif dibandingkan dengan *Russel Approximation Method*.

Berdasarkan permasalahan transportasi di atas, penelitian ini bertujuan melakukan riset operasi untuk mengatasi permasalahan transportasi terkait biaya minimal pendistribusian produk yang harus dikeluarkan oleh PT. Unichem Candi Indonesia menggunakan model transportasi dengan *Vogel's Approximation Method* (VAM) sebagai solusi untuk menentukan solusi optimum serta dilakukannya perhitungan menggunakan bantuan *software* POM- QM, RStudio dan Phyton untuk memvalidasi perhitungan manual yang telah dilakukan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Riset Operasi (*Operations Research*)

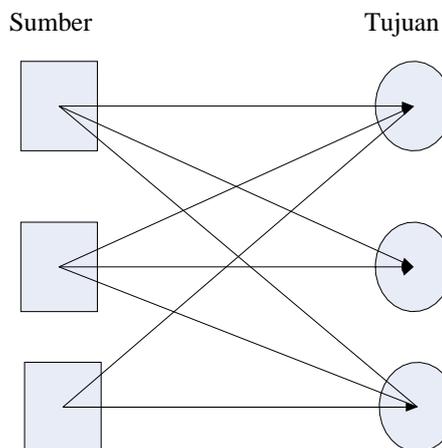
Riset operasi muncul pertama kali pada saat Perang Dunia ke-2 di Inggris, selama peperangan dimulai itulah menggunakan metode kuantitatif untuk dilakukannya riset (meneliti) dengan berbagai ilmu (scientist). Riset operasi (*Operations Research*) merupakan suatu cara ilmiah untuk menyelesaikan persoalan yang luas juga untuk mengendalikan sistem yang kompleks perihal aktivitas machine, materials, man dan money dalam suatu industri atau perusahaan. Tujuan dilakukannya riset operasi ialah membantu tim manajemen untuk menentukan arah gerak yang semestinya terkait peraturan dan tindakannya secara ilmiah.

### B. Linear Programming

*Linear programming* atau biasa disebut program linier ialah suatu program tematik yang termasuk ke dalam bagian kategori teknikal-teknikal yang merupakan salah satu metode analitik dalam ilmu matematis. Kata "linier" yang artinya hubungan atau keterkaitan terhadap faktor atau penyebab tertentu yang bersifat tetap (*linear*). Dimana yang dimaksud hubungan atau keterkaitan *linear* tersebut ialah apabila terdapat faktor yang berubah maka faktor lain ikut berubah dengan jumlah yang sama. Program linier termasuk ke dalam bagian riset operasi, dimana tujuan program linier ini sendiri untuk memecahkan permasalahan *linear* dengan harapan mendapatkan hasil yang optimum. Dan hasil atau nilai yang didapat dalam suatu penyelesaian permasalahan *linear* hanya hasil yang berupa maksimum atau minimum.

### C. Model Transportasi

Model Transportasi adalah salah satu jenis *linear programming* yang memiliki ciri-ciri khusus, yaitu: produk dikirimkan dari beberapa pihak penyuplai ke berbagai pihak penerima dengan *cost* serendah mungkin, dan setiap pihak penyuplai dapat mengirim dengan jumlah produk tertentu, serta setiap pihak penerima (tujuan pengiriman) memiliki *demand* tertentu juga. Model transportasi berfungsi untuk mencari solusi yang paling optimum, di mana fungsinya terdiri dari satu atau lebih variabel berdasarkan kendala-kendala yang dihadapinya. Dalam model transportasi untuk mencari penyelesaian layak dapat menggunakan beberapa metode seperti: *Least Cost*, *North West Corner*, dan *Vogel's Approximation Method* (VAM). Solusi awal yang telah diperoleh dari salah satu metode transportasi yang digunakan, belum tentu merupakan solusi yang optimum. Maka dari itu harus dilakukan uji keoptimalan menggunakan *Stepping Stone Method* atau dapat menggunakan *Modified Distribution* (MODI) untuk mendapatkan solusi optimal dengan biaya yang minimal mungkin.



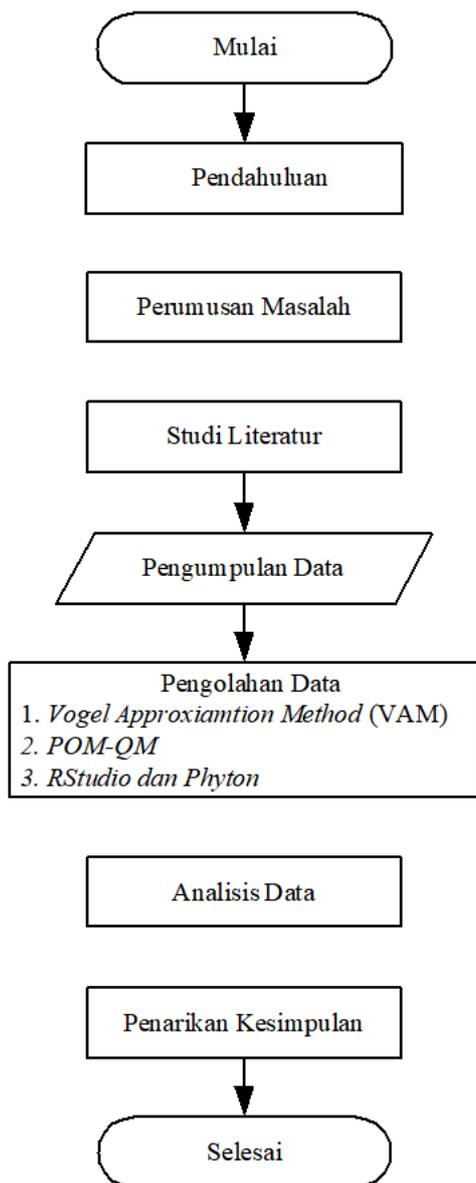
Gambar 1. Model jaringan transportasi umum

Adapun rumus transportasi secara umum sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad (1)$$

Atau adapun rumus atau formula *linear programming* dalam membahas transportasi sebagai berikut:





Gambar 2. Flowchart Alur Penelitian

Deskripsi dari *flowchart* alur atau langkah langkah penelitian sebagai berikut:

- 1. Pendahuluan**  
Pendahuluan dilakukan dengan cara mengambil data yang telah ada di jurnal, namun dalam hal ini penelitian terdahulu pada tahun 2015 telah observasi dan wawancara secara langsung ke lapangan.
- 2. Perumusan Masalah**  
Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu bagaimana cara mengoptimalkan biaya pengiriman produk Pada daerah Sumber Pennghasil garam ke pabrik menggunakan model Transportasi dengan *Vogel's Approximation Method (VAM)* dan bantuan software POM QM, RStudio dan Phytan.
- 3. Studi Literatur**  
Studi literatur dilakukan guna mengetahui dari mana informasi dan data tersebut dapatkan sebagai suatu landasan untuk berfikir, pada penelitian ini mengacu

pada beberapa jurnal nasional yang relevan dengan masalah transportasi guna dijadikan referensi landasan berfikir.

4. Pengumpulan data

Data yang dikumpulkan merupakan data primer yang didapat dari wawancara dan observasi secara langsung kepada pihak terkait. Data primeryang didapat yaitu data pengiriman barang meliputi: data stok barang masing-masing toko (supply) dan data permintaan dari setiap toko yang dituju (demand), serta data biaya pengiriman per unit.

5. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan secara manual dan bantuan software POM-QM, RStudio serta Programming Phytan. Pengolahan data menggunakan POM-QM dan lainnya guna memvalidasi benar atau tidaknya perhitungan manual yang sudah dilakukan. Metode transportasi yang digunakan yaitu *Vogel's Approxiamtion Method (VAM)*.

6. Analisis Data

Analisis data dilakukan guna mengetahui apakah terdapat perbedaan perhitungan secara manual atau tidak dengan perhitungan dengan bantuan *software* POM-QM dan lainnya. Analisis data juga bertujuan untuk mendapatkan kesimpulan dari pengolahan atau perhitungan data yang telah dilakukan.

7. Penarikan Kesimpulan

Penarikan kesimpulan akan berupa saran dan masukan dari hasil yang telah diperoleh terhadap PT. Unichem Candi Indonesia perihal biaya minimal yang perlu dikeluarkan untuk pendistribusian produk garam dengan tetap memenuhi permintaan pasar serta mempertimbangkan stok penawaran yang ada.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

PT. Unichem Candi Indonesia merupakan Perusahaan produksi garam di Madura yang memiliki tiga daerah penghasil garam terbesar di Madura itu sendiri. Pendistribusian produk garam belum jadi menjadi masalah yang dihadapi oleh PT dari ketiga Sumber daerah penghasil garam tersebut ke pabrik dan perlu diselesaikan menggunakan metode transportasi untuk mendapatkan biaya optimum.

Table 2. Jumlah produksi/penawaran garam pulau Madura

Daerah Asal	Penawaran (ton/tahun)	Daerah Tujuan	Permintaan (ton/tahun)
<b>Sampang</b>	235000	<b>Gresik</b>	70000
<b>Pamekasan</b>	102000	<b>Surabaya</b>	144000
<b>Sumenep</b>	127000	<b>Sidoarjo</b>	250000

(Sumber: Hasil survei, 2015. Dari jurnal)

Pada Tabel di atas diketahui bahwa terdapat kegiatan pengiriman barang yang dilakukan oleh ketiga toko tersebut, dimana tujuan pengirimannya yaitu daerah Gresik, Surabaya dan sidoarjo. Melihat data yang tersaji serta dengan memperhatikan rumusan masalah penelitian, maka tujuan dari pengolahan data ini adalah untuk mengetahui optimasi biaya pengiriman produk yang berfokus mencari biaya minimal yang harus dikeluarkan dalam aktivitas transportasi pengiriman garam dari daerah penghasil ke tujuan tiap pabrik serta

mengetahui alokasi yang tepat dari jumlah barang yang dikirim pada setiap sumber daerah.

Tabel 3. Biaya transportasi

Asal	Tujuan(Rp/Ton)		
	Gresik	Surabaya	Sidoarjo
Sampang	90006	77350	90159
Pamekasan	108613	90252	104670
Sumenep	133296	110606	129503

Dari data-data diatas dapat dibuat:

Tabel 4. Awal Model Transportasi

Sumber	Tujuan			Supply
	Gresik	Surabaya	Sidoarjo	
Sampang	90006	77350	90159	235000
Pamekasan	108613	90252	104670	102000
Sumenep	133296	110606	129503	127000
<i>Demand</i>	70000	144000	250000	464000

Tabel di atas adalah tabel awal data pengalokasian barang dengan model transportasi yang merupakan langkah awal untuk dimulainya pengolahan data dengan model transportasi menggunakan *Vogel's Approximation Method* (VAM). Terlihat pada Tabel di atas, masing-masing daerah sumber dan sumber tujuan memiliki kapasitas dan permintaan yang berbeda-beda dengan total *demand* dan *supply* sebesar 464000 ton.

Tahap pertama metode ini dalam model transportasi yaitu mengetahui nilai *penalty cost* dari tiap kolom dan barisnya. *Penalty cost* dapat diketahui dengan mencari selisih dari dua bilangan dalam satu baris dan kolomnya. Jenis kasus yang peneliti analisis merupakan kasus minimasi, oleh karena itu selisih dari dua bilangan tersebut merupakan selisih dari nilai subseleksi atau biaya pengiriman yang paling minimal.

#### A. Penentuan Penalty Cost dan Pengisian Sel Tahap1 VAM

Pemilihan kolom atau baris yang akan diisi oleh jumlah barang dilihat berdasarkan nilai *penalty cost* terbesar pada tiap kolom dan barisnya. Adapun pengisian kolom pada tabel diisi dengan memilih sel dengan biaya pengiriman paling minimal. Berikut merupakan tabel pengalokasian barang beserta nilai *penalty cost* tiap baris dan kolom dapat diketahui dengan melihat tabel di bawah ini:

Tabel 5. *penalty cost* dan pengisian sel tahap 1 VAM

Sumber	Tujuan			Supply	Penalty cost
	Gresik	Surabaya	Sidoarjo		
Sampang	90006	77350	90159	235000	12656
Pamekasan	108613	90252	104670	102000	14418
Sumenep	133296	110606	129503	127000	18897
<i>Demand</i>	70000	144000	250000		
<i>Penalty cost</i>	18607	12902	14511		

Melihat Tabel di atas, sel pertama yang diisi adalah sel dengan sumber pengiriman dari Sumenep dengan tujuan pengiriman adalah Surabaya. Dikarenakan kapasitas barang

sebanyak 127000 ton dan jumlah permintaan sebanyak 144000 ton, maka isi tabel dengan angka terkecil dari data kedua variabel tersebut. Hal tersebut akan mengakibatkan sel sisa pada kolom akan terlihat, dikarenakan permintaan barang dengan tujuan Surabaya lebih besar dari supply nya, maka permintaan masih belum terpenuhi. Langkah selanjutnya adalah menghitung *penalty* tahap 2

#### B. Penentuan Penalty Cost dan Pengisian Sel Tahap2 VAM

Berdasarkan langkah pengisian sel pada tahap pertama, pengisian sel selanjutnya menggunakan langkah yang sama seperti pengisian sel pada tahap pertama. Adapun yang membedakan dari setiap tabel yaitu nilai *penalty cost* pada tiap kolom dan barisnya. Hal ini dikarenakan pada langkah sebelumnya terdapat sel yang telah diisi dan sel yang tidak diisi dikarenakan kapasitas atau permintaan masih belum terpenuhi. Untuk tahap dua ini, langkah yang harus dilakukan yaitu mencari *penalty cost* terbesar kembali. Maka, tabel pengalokasian barang beserta nilai *penalty cost* tiap baris dan kolom dapat diketahui dengan melihat tabel di bawah:

Tabel 6. *Penalty cost* dan pengisian sel tahap 2 VAM

Sumber	Tujuan			Supply	Penalty cost
	Gresik	Surabaya	Sidoarjo		
Sampang	90006 70000	77350	90159	235000	12656
Pamekasan	108613	90252	104670	102000	14418
Sumenep	133296	110606 127000	129503	127000	-
<i>Demand</i>	70000	144000	250000		
<i>Penalty cost</i>	18607	12902	14511		

Pada Tabel di atas, permintaan barang sebanyak 70000 untuk daerah Gresik telah dipenuhi oleh Sampang. Disamping itu, Sampang masih memiliki kapasitas sebanyak 165000 ton sisa alokasi ke Gresik. Hal tersebut dapat diartikan bahwa Sampang masih dapat melakukan pengiriman barang untuk tujuan berikutnya.

#### C. Penentuan Penalty Cost dan Pengisian Sel Tahap3 VAM

Tabel 7. Tabel *penalty cost* dan pengisian sel tahap 3 VAM

Sumber	Tujuan			Supply	Penalty cost
	Gresik	Surabaya	Sidoarjo		
Sampang	90006 70000	77350	90159 165000	235000	12809
Pamekasan	108613	90252	104670	102000	14418
Sumenep	133296	110606 127000	129503	127000	-
<i>Demand</i>	70000	144000	250000		
<i>Penalty cost</i>	-	12902	14511		

D. Penentuan Penalty Cost dan Pengisian Sel Tahap 4 VAM

Tabel 8. Tabel penalty cost dan pengisian sel tahap 4 VAM

Sumber	Tujuan			Supply	Penalty cost
	Gresik	Surabaya	Sidoarjo		
Sampang	90006 70000	77350 -	90159 165000	235000	-
Pamekasan	108613 -	90252 17000	104670 85000	102000	14418
Sumenep	133296 -	110606 127000	129503 -	127000	-
Demand	70000	144000	250000		
Penalty cost	-	12902	-		

E. Penentuan Penalty Cost dan Pengisian Sel Tahap 5 VAM

Tabel 9. Tabel penalty cost dan pengisian sel tahap 5 VAM

Sumber	Tujuan			Supply	Penalty cost
	Gresik	Surabaya	Sidoarjo		
Sampang	90006 70000	77350 -	90159 165000	235000	-
Pamekasan	108613 -	90252 17000	104670 85000	102000	14418
Sumenep	133296 -	110606 127000	129503 -	127000	-
Demand	70000	144000	250000		
Penalty cost	-	-	-		

Berdasarkan Tabel 9 yang merupakan pengisian sel tahap kelima menggunakan metode transportasi Vogel's Approximation Method menunjukkan bahwa pengalokasian barang ke tiga tujuan telah terpenuhi semua sesuai dengan permintaan dari masing-masing daerah.

F. Bentuk Pengalokasian Barang dengan Model Transportasi VAM

Setelah semua permintaan barang dari ketigatujuan telah terpenuhi semua dengan kapasitas permintaan di setiap pabrik dari setiap daerah tujuan, maka bentuk akhir pengalokasian barang dengan menggunakan Vogel's Approximation Method (VAM) sebagai berikut:

Tabel 10. Bentuk akhir pengalokasian barang dengan VAM

Sumber	Tujuan			Supply
	Gresik	Surabaya	Sidoarjo	
Sampang	90006 70000	77350 -	90159 165000	235000
Pamekasan	108613 -	90252 17000	104670 85000	102000
Sumenep	133296 -	110606 127000	129503 -	127000
Demand	70000	144000	250000	464000

Berdasarkan Tabel di atas, terlihat bahwa semua permintaan telah terpenuhi semua dengan baik, maka dapat dibentuk solusi berdasarkan metode transportasi Vogel's Approximation Method sebagai berikut:

$$Z = C_{11}(X_{11}) + C_{13}(X_{13}) + C_{22}(X_{22}) + C_{23}(X_{23}) + C_{32}(X_{32})$$

$$Z = (70.000 \times 90.006) + (165.000 \times 90.159) + (17.000 \times 90.252) + (85.000 \times 104.670) + (127.000 \times 110.606)$$

$$Z = Rp 45.654.851.000$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapat solusi dari metode transportasi Vogel's Approximation Method (VAM) yaitu sebesar 45.654.851.000. Selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Dimasuharto dkk, yaitu melakukan pengoptimalan biaya pengiriman produk kaca menggunakan beberapa metode transportasi untuk menentukan solusi optimum biaya, dimana metode VAM menjadi metode yang menghasilkan biaya paling minimum. Namun untuk memastikan hasil yang di dapat dikatakan optimal, maka dari itu perlu dilakukan pencarian menggunakan bantuan perhitungan lain. Seperti menggunakan software POM QM, rStudio dan Pemrograman Python.

G. Uji Optimalitas dan Menyusun Tabel Baru (PBF berikutnya) MODI

Setelah mendapatkan PBF, untuk menentukan apakah penyelesaian yang didapatkan optimal maka dilakukan uji optimalitas. Uji optimalitas dilakukan dengan menentukan nilai Opportunity cost (ongkos kesempatan) yang dinotasikan dengan  $c'_{ij}$ . Apabila  $c'_{ij}$  bernilai negatif atau nol untuk setiap variabel nonbasis maka penyelesaian basis fisibelnya sudah optimal. Penyelesaian optimal  $\Leftrightarrow \forall$  variabel nonbasis  $x_{ij}$  nilai  $c'_{ij} \leq 0$ .

Metode MODI nilai  $c'_{ij}$  dihitung untuk semua variabel nonbasis, bila PBF belum optimal maka perubahan PBF dilakukan dengan terlebih dahulu membuat loop untuk variabel nonbasis yang akan menjadi variabel basis.

Untuk menentukan nilai  $c'_{ij}$  ada beberapa istilah dan rumusan yang akan dipakai untuk memudahkan dalam perhitungannya. Istilah tersebut adalah  $u_i$  = bilangan baris yang diletakkan pada kolom paling kanan, sedangkan  $v_j$  = bilangan kolom diletakkan pada baris paling bawah. Sedangkan rumusan yang akan dipakai adalah sebagai berikut :

- Pada kotak isi (variabel basis) berlaku hubungan  $u_i + v_j = c_{ij}$  atau  $u_i + v_j - c_{ij} = 0$
- Pada kotak kosong (variabel nonbasis) berlaku hubungan  $u_i + v_j - c'_{ij} = c'_{ij}$  (ongkos kesempatan)

Untuk menentukan nilai-nilai  $u_i$ ,  $v_j$  dan  $c'_{ij}$ , pertama diberikan nilai  $u_1 = 0$  (bisa juga  $u_i$  atau  $v_j$  yang lain) kemudian dicari nilai-nilai  $u_i$  dan  $v_j$  yang lain dengan menggunakan rumusan di atas, lantas akan dapat ditentukan nilai  $c'_{ij}$  dari rumus diatas.

Penyelesaian:

Sumber	Tujuan			Supply	$U_i$
	Gresik	Surabaya	Sidoarjo		
Sampang	90006 70000	77350 -	90159 165000	235000	$U_1 = 0$
Pamekasan	108613 -	90252 17000	104670 85000	102000	$U_2 = ?$
Sumenep	133296 -	110606 127000	129503 -	127000	$U_3 = ?$
Demand	70000	144000	250000		
$V_j$	$V_1 = ?$	$V_2 = ?$	$V_3 = ?$		

Dengan menggunakan ketentuan  $u_i + v_j = c_{ij}$  pada kotak isi akan mendapatkan berbagai nilai  $u_i$  dan  $v_j$  berikut:

- $U_1 + V_3 = C_{13}$   $0 + V_3 = 90159$   $V_3 = 90159$
- $U_2 + V_3 = C_{23}$   $U_2 + 90159 = 104670$   $U_2 = 14511$
- $U_2 + V_2 = C_{22}$   $14511 + V_2 = 90252$   $V_2 = 75741$
- $U_3 + V_2 = C_{32}$   $U_3 + 75741 = 110606$   $U_3 = 34865$
- $U_1 + V_1 = C_{11}$   $0 + V_1 = 90006$   $V_1 = 90006$ .

Tabel 11. PBF di atas dapat ditulis sebagai berikut:

Sumber	Tujuan			Supply	$U_i$
	Gresik	Surabaya	Sidoarjo		
Sampang	90006 70000	77350	90159 165000	235000	$U_1 = 0$
Pamekasan	108613 -4096	90252 17000	104670 85000	102000	$U_2 = 14511$
Sumenep	133296 -8425	110606 127000	129503 -	127000	$U_3 = 34865$
Demand	70000	144000	250000		
$V_j$	$V_1 = 90006$	$V_2 = 75741$	$V_3 = 90159$		

Dengan menggunakan ketentuan  $u_i + v_j - c_{ij} = c'_{ij}$  akan diperoleh nilai  $c'_{ij}$  untuk setiap kotak kosong. Hasilnya adalah sebagai berikut:

- $C'_{12} = U_1 + V_2 - C_{12} = 0 + 75741 - 77350 = -1609$ ,
- $C'_{21} = U_2 + V_1 - C_{21} = 14511 + 90006 - 108613 = -4096$ ,
- $C'_{31} = U_3 + V_1 - C_{31} = 34865 + 90006 - 133296 = -8425$ ,
- $C'_{33} = U_3 + V_3 - C_{33} = 34865 + 90159 - 129503 = -4479$ .

Apabila kita letakkan pada tabel di atas kita peroleh tabel berikut:

Dari nilai tabel di atas terlihat bahwa nilai  $c'_{ij}$  negatif semua, jadi PBF nya sudah optimal, berhenti.

Sumber	Tujuan			Supply	$U_i$
	Gresik	Surabaya	Sidoarjo		
Sampang	90006 70000	77350 -1609	90159 165000	235000	$U_1 = 0$
Pamekasan	108613 -4096	90252 17000	104670 85000	102000	$U_2 = 14511$
Sumenep	133296 -8425	110606 127000	129503 -4479	127000	$U_3 = 34865$
Demand	70000	144000	250000		
$V_j$	$V_1 = 90006$	$V_2 = 75741$	$V_3 = 90159$		

Maka table optimalnya tetap sama dengan tableawal pada PBFnya yaitu:

Sumber	Tujuan			Supply
	Gresik	Surabaya	Sidoarjo	
Sampang	90006 70000	77350 -	90159 165000	235000
Pamekasan	108613 -	90252 17000	104670 85000	102000
Sumenep	133296 -	110606 127000	129503 -	127000
Demand	70000	144000	250000	464000

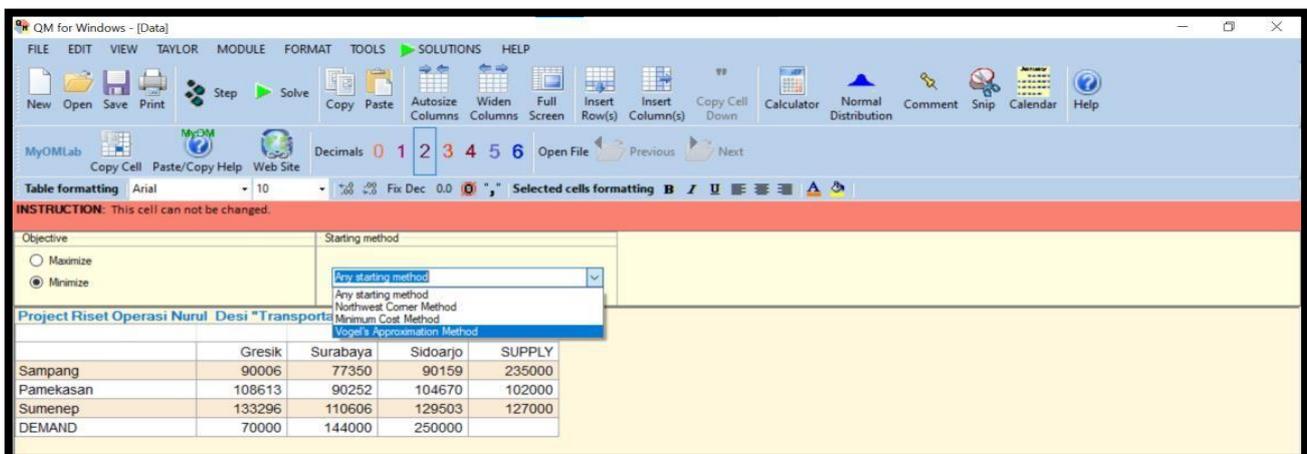
Dengan nilai fungsi tujuannya adalah

$$Z = (70.000 \times 90.006) + (165.000 \times 90.159) + (17.000 \times 90.252) + (85.000 \times 104.670) + (127.000 \times 110.606)$$

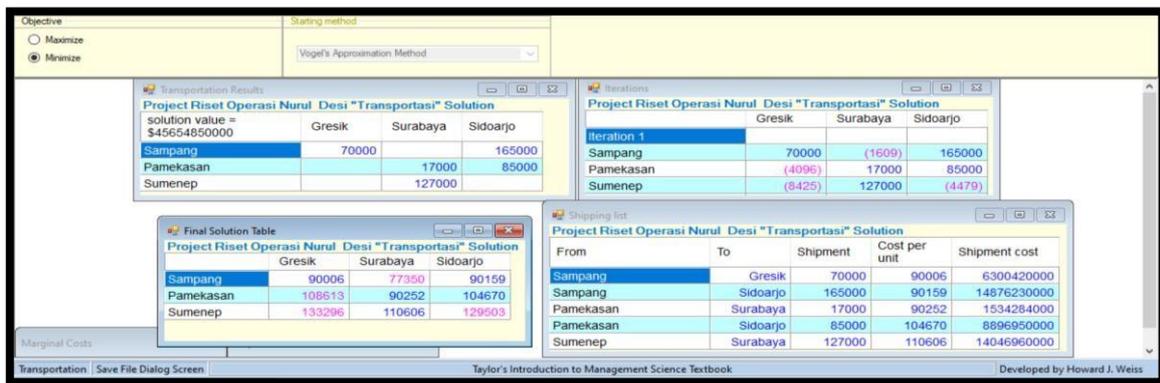
$$Z = Rp 45.654.851.000$$

H. Uji Validasi Model Transportasi Vogel's Approximation Method menggunakan Software POM-QM, Rstudio dan Pemrograman Phytion

POM-QM merupakan salah satu program komputer yang dapat memecahkan permasalahan kuantitatif, manajemen sains, dan *operations research*. Perhitungan dengan Software POM-QM bertujuan untuk memvalidasi sudah optimal atau tidaknya dengan perhitungan manual yang sudah dilakukan. Berikut Tahapan perhitungan model transportasi dengan VAM pada POM-QM dapat dilihat pada Gambar di bawah ini:

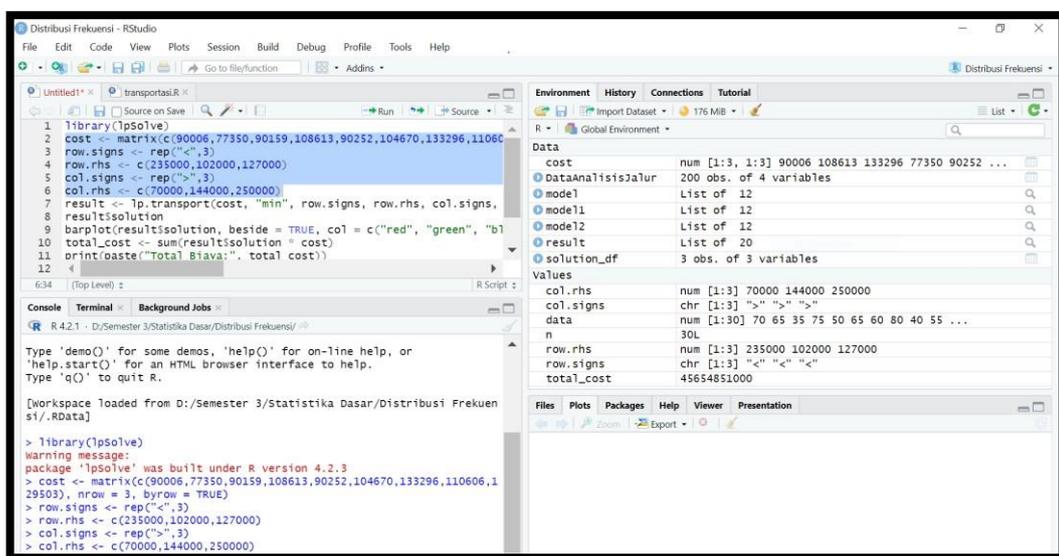


Gambar 3. Tampilan hasil input data ke dalam matriks transportasi dan pemilihan metode pada software POM-QM

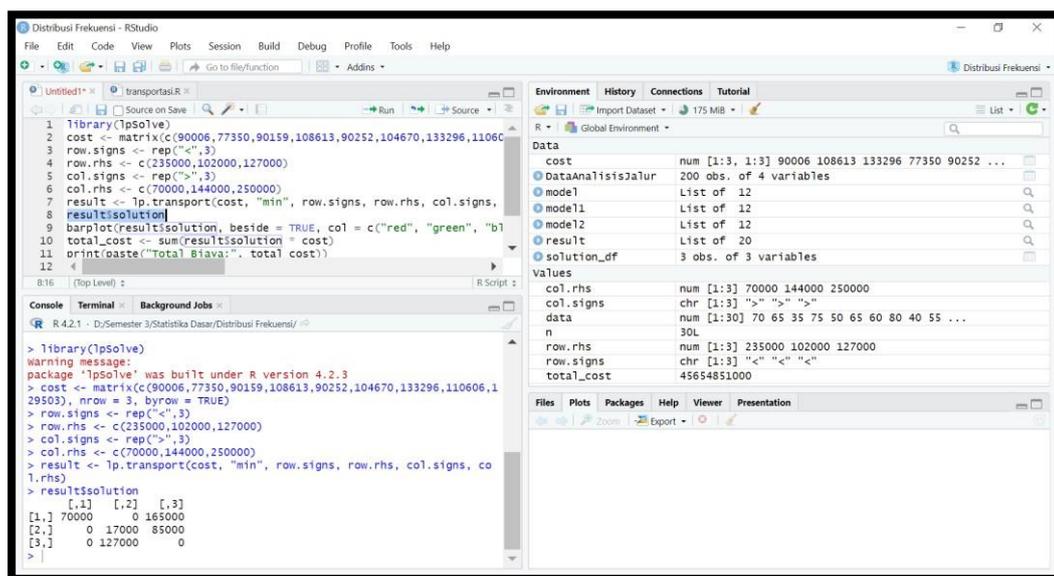


Gambar 4. Tampilan hasil perhitungan model transportasi menggunakan *vogel's approximation method* pada software POM-QM

Berikut Tahapan perhitungan model transportasi dengan RStudio dapat dilihat pada Gambar dibawah ini:



Gambar 5. Tampilan hasil *input* data transportasi pada Rstudio



Gambar 6. Tampilan result solution model transportasi menggunakan RStudio



Gambar 7. Tampilan hasil *perhitungan/total cost* dan hasil dalam bentuk barplot pada RStudio

Berikut perhitungan model transportasi dengan Pemrograman Phyton dapat dilihat pada Gambar di bawah ini:

```

Code RO Project - Colaboratory X
https://colab.research.google.com/drive/1w6303BTX_QateFNlq6ysOctKXhwwutg?hl=id

Code RO Project
File Edit Lihat Sisipkan Runtime Fitur Bantuan Semua perubahan telah disimpan

+ Kode + Teks
!pip install pulp
import pulp

# Inisialisasi model
model = pulp.LpProblem("Transportation_Problem", pulp.LpMinimize)

# Daftar daerah asal dan kota tujuan
daerah_asal = ["Sampang", "Pamekasan", "Sumenep"]
kota_tujuan = ["Gresik", "Surabaya", "Sidoarjo"]

# Data penawaran dan permintaan
penawaran = [235000, 102000, 127000]
permintaan = [70000, 144000, 250000]

# Biaya pengiriman dari daerah asal ke kota tujuan
biaya_pengiriman = {
    ("Sampang", "Gresik"): 90006,
    ("Sampang", "Surabaya"): 77350,
    ("Sampang", "Sidoarjo"): 90159,
    ("Pamekasan", "Gresik"): 108613,
    ("Pamekasan", "Surabaya"): 90252,
    ("Pamekasan", "Sidoarjo"): 104670,
    ("Sumenep", "Gresik"): 133296,
    ("Sumenep", "Surabaya"): 118606,
    ("Sumenep", "Sidoarjo"): 129503,
}

# Variabel keputusan
x = pulp.LpVariable.dicts("Jumlah_Pengiriman",
                        ((daerah, kota) for daerah in daerah_asal for kota in kota_tujuan),
                        lowBound=0, cat="Integer")

# Fungsi tujuan
model += sum(biaya_pengiriman[daerah, kota] * x[daerah, kota]
            for daerah in daerah_asal for kota in kota_tujuan)

# Kendala penawaran
for daerah, penawaran in zip(daerah_asal, penawaran):
    model += sum(x[daerah, kota] for kota in kota_tujuan) == penawaran

# Kendala permintaan
for kota, permintaan in zip(kota_tujuan, permintaan):
    model += sum(x[daerah, kota] for daerah in daerah_asal) == permintaan

# Menyelesaikan model
model.solve()

# Output solusi
print("Status Solusi:", pulp.LpStatus[model.status])
print("Solusi:")
for daerah in daerah_asal:
    for kota in kota_tujuan:
        if x[daerah, kota].varValue > 0:
            print(f"Jumlah pengiriman dari {daerah} ke {kota}: {x[daerah, kota].varValue} ton")

print("Total Biaya Pengiriman: Rp.", pulp.value(model.objective))

```

Gambar 8. Tampilan hasil *input* data transportasi pada pemrograman Phyton di Google Colab

```

# Menyelesaikan model
model.solve()

# Output solusi
print("Status Solusi:", pulp.LpStatus[model.status])
print("Solusi: ")
for daerah in daerah_asal:
    for kota in kota_tujuan:
        if x[daerah, kota].varValue > 0:
            print(f"Jumlah pengiriman dari {daerah} ke {kota}: {x[daerah, kota].varValue} ton")

print("Total Biaya Pengiriman: Rp.", pulp.value(model.objective))

Collecting pulp
Downloading Pulp-2.7.0-py3-none-any.whl (14.3 MB)
----- 14.3/14.3 MB 61.4 MB/s eta 0:00:00
Installing collected packages: pulp
Successfully installed pulp-2.7.0
Status Solusi: Optimal
Solusi:
Jumlah pengiriman dari Sampang ke Gresik: 70000.0 ton
Jumlah pengiriman dari Sampang ke Sidoarjo: 165000.0 ton
Jumlah pengiriman dari Pamekasan ke Surabaya: 17000.0 ton
Jumlah pengiriman dari Pamekasan ke Sidoarjo: 85000.0 ton
Jumlah pengiriman dari Sumenep ke Surabaya: 127000.0 ton
Total Biaya Pengiriman: Rp. 45654851000.0

```

Gambar 9. Tampilan hasil perhitungan/total cost pada RStudio Pemrograman Phytion

Berdasarkan Gambar-Gambar di atas, perhitungan model transportasi menggunakan *Vogel's Approximation Method* pada *Software POM-QM, RStudio dan Pemrograman Phytion* memperoleh hasil yang serupa seperti dengan perhitungan secara manual yaitu diperoleh biaya minimal pengiriman garam sebesar Rp 45.654.851.000, itu artinya perhitungan manual yang diikuti telah akurat dan dapat dipastikan telah mencapai hasil yang optimal. Hal ini diperkuat dengan penelitian yang dilakukan oleh Suparjo, yang melakukan optimasi biaya distribusi pada PT Gotrans Logistic International, menyatakan bahwa menggunakan metode VAM menggunakan *software POM-QM* dapat mengoptimalkan biaya distribusisebesar Rp52.100.000 dari yang sebelumnya Rp53.500.000. Serta Setiawati dan Tenriajeng dapat mengoptimalkan biaya operasional MRT Jakarta Fase 1 menjadi Rp1.267.110.000.000 yang sebelumnya Rp1.658.026.479.526 menggunakan metode VAM dengan bantuan *software POM-QM*.

#### V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan terkait permasalahan pendistribusian garam yang dialami PT unichem candi Indonesia, maka dapat disimpulkan bahwa biaya minimum yang dikeluarkan terhadap aktivitas pengiriman garam dari daerah penghasil ke tempat tujuan menggunakan model transportasi dengan *Vogel's Approximation Method (VAM)* baik secara perhitungan manual maupun dengan bantuan *Software POM-QM, RStudio dan Phytion* Rp45.654.851.000.

#### DAFTAR PUSTAKA

P. Kotler, *Manajemen Pemasaran Analisis Perencanaan, Implementasi dan Pengendalian (Terjemahan Jaka Wasana)*.

Y. Ratnasari, D. Yuniarti, and I. Purnamasari, "Optimasi Pendistribusian Barang Dengan Menggunakan Vogel's Approximation Method dan Stepping Stone Method ( Studi Kasus : Pendistribusian Tabung Gas LPG 3 Kg Pada PT . Tri Pribumi Sejati )," *J. EKSPONENSIAL*, vol. 10, no. 2, pp. 165– 174, 2019.

K. Auliasari, M. Kertaningtyas, and D. W. L. Basuki, "Optimalisasi Rute Distribusi Produk Menggunakan Metode Traveling Salesman Problem," *J. Sains, Teknol. dan Ind.*, vol. 16, no. 1, p. 15, 2018.

S. R. Wahyu, A. Rohima, K. F. Handayani, and M. Fauzi, "Optimalisasi Biaya Distribusi Kain Mentah Di Pt Pqr Menggunakan Metode Vam (Vogel's Approximation Method) Dan Lingo," *J. Ilm. Stat. dan Ekon.*, vol. 1, no. 2, pp. 91–99, 2021.

K. Ganesan and D. Dheebia, "A Study of Intuitionistic Fuzzy Transportation Problem Using Vogel's Approximation Method," *Int. J. Math. Trends Technol.*, vol. 68, no. 6, pp. 224–232, 2020.

N. Dimasuharto, A. M. Subagyo, and R. Fitriani, "Optimalisasi Biaya Pendistribusian Produk Kaca Menggunakan Model Transportasi Dan Metode Stepping Stone," *J. INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya*, vol. 7, no. 2, pp. 81–88, 2021.

L. M. Safari, M. S. Ceffi, and M. Suprpto, "Optimasi Biaya Pengiriman Beras Menggunakan Model Transportasi Metode North West Corner (Nwc) Dan Software Lingo," *J. Ilm. Teknol. Infomasi Terap.*, vol. 6, no. 3, pp. 184–189, 2020.

F. Zulfikarizah, *Operation Research*. Malang: Bayumedia Publishing, 2004.

M. Afiani, S. Setiawani, and T. B. Setiawan, "Penerapan Modified Vogel'S Approximation Method (Mvam) Untuk Meminimumkan Biaya Transportasi (Studi Kasus: Pabrik Tahu Taufik)," *J. Mat. Stat. dan Komputasi*, vol. 16, no. 2, p. 143, 2019.

S. Ayulinansyah, A. I. Jaya, and A. Sahari, "Optimalisasi Biaya Transportasi Pendistribusian Keramik Menggunakan Model Transportasi Metode Modified Distribution (Studi Kasus : Pt. Indah Bangunan)," *J. Ilm. Mat. Dan Terap.*, vol. 15, no. 2, pp. 188–196, 2018.

- Marwan, "Optimasi Biaya Distribusi Material Dengan Metode Nwc ( North West Corner ) Dan Metode Vam ( Vogel Approximation Method ) Pada Pt . Xyz," *IESM J.*, vol. 02, no. 01, pp. 137–146, 2021.
- N. A. Hasibuan, "Russel Approximation Method And Vogel's Approximation Method In Solving Transport Problem," *Int.J. Informatics Comput. Sci. (The IJICS)*, vol.1, no. 1, pp. 1–7, 2017.
- J. J. Siang, *Riset Operasi Dalam Pendekatan Algoritmis*. Yogyakarta: CV Andi Offset, 2011.
- Supranto, *Riset Operasi*. Jakarta: Universitas Indonesia, 2005. Aminudin, *Prinsip-Prinsip Riset Operasi*. Jakarta: Erlangga, 2005.
- Fahmi, A. (2016). Analisis Proses Rantai Pasok Distribusi Garam: Studi Kasus Pulau Madura (Skripsi). Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.